

## I . 研究実施の概要

農業環境技術研究所では、農業生産環境の安全性を確保するための基礎的な調査及び研究への特化・重点化を図りつつ、中期目標期間（2006～2010年）において、3つの研究領域において次の研究課題を重点的に実施する。

- A 農業環境のリスクの評価及び管理技術の開発
- B 自然循環機能の発揮に向けた農業生態系の構造・機能の解明と管理技術の開発
- C 農業生態系の機能の解明を支える基盤的研究

以下に、5年間の中期目標期間中の中期計画と平成21年度の研究実施の概要を紹介する。

### A 農業環境のリスクの評価及び管理技術の開発

1) 農業生態系における有害化学物質のリスク管理技術の開発

(1) 農業環境中における有害化学物質のリスク評価手法及びリスク管理技術の開発

中期計画：農業環境におけるカドミウム、ヒ素、放射性物質、ドリリン系を含む残留性有機汚染物質（POPs）等の化学物質による汚染リスクを低減するため、それらの動態を解明するとともに、リスク低減技術を開発する。農薬等の有機化学物質については、環境中挙動予測モデルを開発するとともに、水生節足動物等への暴露試験等により、環境リスク評価手法を開発する。また、有害化学物質で汚染された土壌を化学洗浄、バイオレメディエーション等の手法で修復する技術や、これらの物質に対する低吸収性品種の利用技術等を開発する。

研究の概要：

ア 農薬等の環境リスク評価手法及びリスク低減技術の開発

#### ①有機化学物質のリスク低減技術の開発

（普及に移しうる成果：水浄化を目的とした微粉末活性炭タブレット）

50%メタノール・水による土壌抽出法（平成20年度普及に移しうる成果）について、土性の異なるディルドリン残留5ほ場（灰色低地土、褐色森林土、黒ボク土）で栽培した4品種のキュウリで妥当性を検証したところ、土壌抽出濃度と果実中濃度との間に品種毎で高い相関が得られ、その有用性を実証す

るとともに、品種・作型・着果節位の違いによる濃度の変動幅を明らかにした。

ディルドリンを好氣的に分解する糸状菌を、殺虫剤エンドスルファン（POPsの1種であるディルドリンと類似の構造を持つ化合物）を連用したさつまいも畑土壌から単離した。この菌は、*Mucor racemosus*の近縁種であった。ディルドリンを添加した模擬汚染土壌に、この菌を混和すると、培養7日間で土壌中のディルドリンは検出限界以下まで減少するなど、農耕地のバイオレメディエーションへの応用が期待される。

また、研究シーズが発展し、水浄化を目的とした微粉末活性炭タブレットが開発された。（図1、2）

#### ②有機化学物質のリスク評価手法の開発

水稲用殺虫剤およびその分解物の水生動物に対する半数影響濃度を調査し、殺虫によっては分解物の毒性が必ずしも低下しないことを明らかにした。また、水生生物に対する農薬の毒性の生物種毎のバラツキや、農薬の河川水中濃度の地域的なバラツキを解析し、農薬による環境リスクの大きさを計算するための手法を確立した。

イ 重金属汚染リスク評価手法及び汚染土壌修復技術の開発

#### ①カドミウム高吸収イネ品種によるカドミウム汚染水田の浄化技術（ファイトレメディエーション）（普及に移しうる成果）

カドミウム高吸収イネを「早期落水法（移植後最高分けつ期まで湛水、以後収穫時まで落水）」で2～3作栽培することにより、土壌のカドミウム濃度を20～40%低減することに成功した。その後に栽培した食用イネの玄米中のカドミウム濃度は、未処理の隣接圃場に比べて40～50%低減した。また、イネ地上部のうち、最初にもみだけを収穫し、その後天日乾燥した稲わらをロール状にまとめて収穫する「もみ・わら分別収穫法・現地乾燥法」によるカドミウム吸収イネの低コスト処理方法を開発した。本成果は、本研究所が第1期に開発した基本技術を高度化したものであり、安価で広範囲に適用できるカドミウム汚染土壌浄化技術として期待される。また、世界中で研究が行われているファイトレメディエ

## 水浄化を目的とした微粉末活性炭タブレット（錠剤）の開発



図1 微粉末活性炭タブレット  
（製品名「まいて環炭」）

微粉末活性炭を使用用途に合わせて様々な形や大きさに整形ができます。



図2 微粉末活性炭タブレットによる14種の残留性有機汚染物質（POPs）の吸着性保持

微粉末活性炭タブレットを使用後、半年以上、吸着性能を保持しています。

水中の有害な有機化学物質（POPs、農薬等）に対して優れた吸着性能を持つものの、水表面に浮遊し水中に拡散しないことや粉塵が舞いやすいこと等利用面の課題が多かった微粉末活性炭をタブレット（錠剤）化し、簡単・迅速・安全に水を浄化する技術を開発しました。このタブレットは、重金属やヒ素を含まない安全な素材で作られ、水をかきまぜることなく短時間で水中に分散し有害な化学物質を強く吸着するため、農業・畜産排水をはじめ、河川、池、井戸などの水を浄化できる技術としての活用が期待されます。

シオンの中で最も実用化に近いものと考えられ、国際誌に発表後、プレスリリースし、2009年農林水産研究10大トピックスに選定されている。（図3、4）

### ②カドミウム、ヒ素の吸収機構の解明

地上部のカドミウム濃度が異なる稲品種間およびナス属植物について、その集積の違いを決定する生理的要因を解析し、導管のカドミウムを輸送する能力に差があることを発見した。また、玄米のカドミウム集積に関わる量的形質遺伝子座（QTL）を、新たに第7染色体の短腕側に同定した。また、このQTLが銅、鉄、マンガン、亜鉛の必須重金属の玄米集積には関与せず、カドミウム濃度のみを特異的に高めることを明らかにした。これらの成果は、作物のカドミウム蓄積の遺伝・生理学的解明を通じて、新たなリスク低減対策の開発に寄与するものである。

稲の出穂前後に水田を湛水管理することで玄米中のカドミウムを低減する対策が行われているが、このような場合の玄米中ヒ素濃度への影響は明らかではない。そこで、水稻及び土壤中に存在するヒ素を化学形態別に分析し、水管理が水稻中のヒ素・カドミウム濃度に及ぼす影響について解析した。その結果、出穂期の水管理は玄米ヒ素濃度にも大きく影響

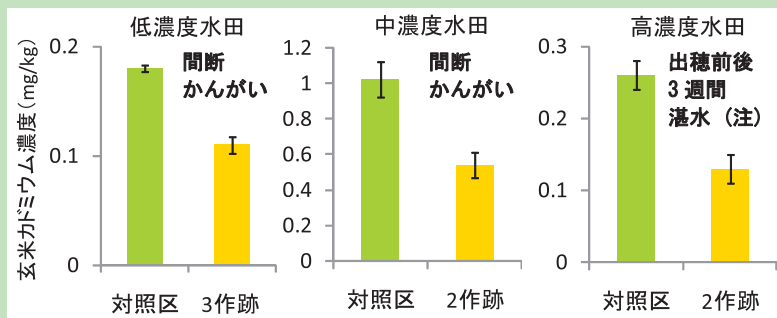
し、出穂前後3週間湛水により有機ヒ素（ジメチルアルシン酸）濃度が高くなること、玄米総ヒ素濃度と総カドミウム濃度の間には負の相関があること等を明らかにした。本成果は、カドミウムとヒ素の両方の汚染リスクがある地域の対策を検討する上で重要である。

### 2) 農業生態系における外来生物及び遺伝子組換え生物のリスク管理技術の開発

#### (1) 外来生物及び遺伝子組換え生物の生態系影響評価とリスク管理技術の開発

中期計画：外来生物（侵入・導入生物）による農業生態系のかく乱と被害を防止するため、外来生物の生育・繁殖特性、他感作用等を明らかにするとともに、外来生物による被害の実態把握並びにその定着・拡散及び被害予測を行う。また、外来生物の原産地域の特定及び侵入確率の推定を行う。さらに、外来天敵昆虫等の外来生物の近縁在来種に及ぼす影響を競争・交雑性等の面から解析し、外来生物が農業生態系に及ぼすリスクを評価するとともに、種同定が困難な外来生物を分子マーカー等により早期検出・監視するための技術を開発する。遺伝子組換え生物が生態系に与える影響を適正に評価するため、DNAマーカー等により組換えダイズとツルマメ等、組換え作物と近縁種との交雑を

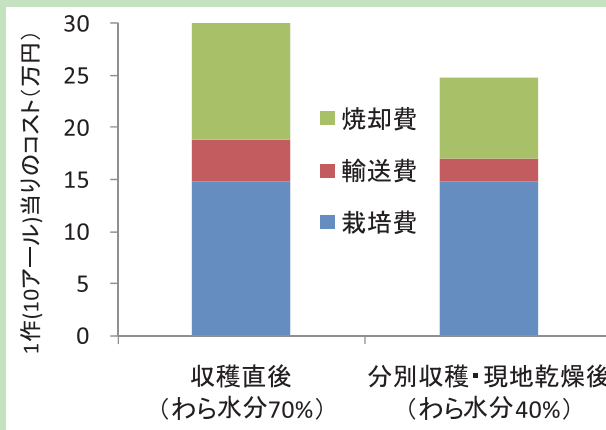
### カドミウム高吸収イネ品種によるカドミウム汚染水田の浄化技術 (ファイトレメディエーション)



カドミウム高吸収イネ品種を栽培した後に食用イネ品種を栽培したところ、玄米中のカドミウム濃度は、40～50%減少しました。

(注) 間断かんがいに比べカドミウム吸収が抑制される

図3 浄化跡地に栽培した食用イネ玄米のカドミウム濃度



稲わらを数日間水田に放置して天日乾燥させます。その後、稲わらをロール状にして収穫し、パレットに載せて上部を透湿防水シートでおおって約2ヶ月間水田に置くことにより、収穫直後には70～80%あった水分が20～40%にまで低減しました。このように収穫物の水分を低減させることにより、コストを低減することができます。

図4 もみわら分別収穫・現場乾燥の様子とわら水分含量およびコストの変化

検出する技術を開発し、交雑による生態系影響を解明する。また、組換え作物と非組換え作物との共存に向けて、交雑率予測モデルや隔離距離の確保等の耕種法による交雑抑制技術を開発する。

研究の概要：

ア 外来生物の生態系影響評価とリスク管理技術の開発

① 外来植物の特性解明と農業生態系のかく乱防止

西日本のミカン園などで草生管理法として使われる外来種ナギナタガヤについて、種子が多産で、農耕地や空地等で雑草化する恐れがあることを明らか

にした。また、ナギナタガヤがアレロパシー活性を持つことを示し、アレロケミカルとして(-)-3-hydroxy-β-ionone と(+)-3-oxo-α-ionol を検出した。(図5)

近年、道路沿いに急速に広がり、農地への侵入もみられる外来植物のナガミヒナゲシの化学生態的特性と雑草性リスクを調べ、アレロパシー活性が強く、改良FAO方式で評価した侵入後の雑草化リスクが大きいこと、未熟な種子からの再生が可能であり、防除には開花前の駆除が重要であることを明らかにした。(図6)

### ナギナタガヤのアレロパシーと そのアレロケミカルの同定

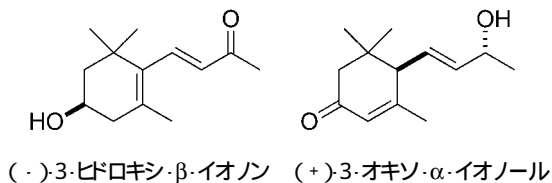


図5 (-)3-ヒドロキシ・β-イオンンと  
(+)3-オキソ・α-イオノールの構造式

両物質ともスミレの香り成分として知られるイオンンの誘導体であり、レチノール(ビタミンA)やカロテノイドと類似した構造を持っています。

### アレロパシー活性が強く、 雑草化リスクが大きいナガミヒナゲシ



図6 ナガミヒナゲシのロゼット葉、花、未熟な鞘

1個体から15万粒の種子を生産し、未熟な鞘に含まれる種子にも発芽力があります。

#### ②外来昆虫のリスク管理技術

侵略的外来昆虫の様々な防除法の効果について、昆虫の交尾探索行動を組み込んだシミュレーションモデルにより検討を行った。その結果、侵入初期の低密度条件下では、従来使われてきた理論予測より簡単に根絶できること、交尾能力や寿命の違いにより効果的な防除法が異なることなどを解明した。本成果は、侵略的外来昆虫を根絶する技術的戦略の検討につながることを期待される。

クリの侵入害虫クリタマバチを防除するために導入された外来天敵チュウゴクオナガコバチについては、近縁の土着天敵クリマモリオナガコバチとの交雑による生態影響が懸念されている。その解明のため、DNA塩基配列の僅差を識別するアレル特異的PCR法を用いて、侵入害虫クリタマバチの外来天敵チュウゴクオナガコバチと近縁土着天敵クリマモリオナガコバチの交雑個体を検出する方法を開発した。

#### イ 遺伝子組換え生物の生態影響評価とリスク管理技術の開発

##### ①生物多様性影響評価研究(野生化、交雑性研究)

遺伝子組換え作物の生物多様性への影響を評価するため、推移行列モデルを使って、野外での個体群存続性により影響を評価する方法を構築した。平成21年度は、推移行列モデルの妥当性をコムギを例に検討し、このモデルが通常のコムギ個体群の現状をおおむね反映していることを確認した。

茨城県鹿島港周辺でのナタネ個体群の分布調査で

は、こぼれ落ち種子に由来するナタネが他の植物を駆逐して分布域を拡大する様子は見られなかった。これを検証するため、圃場でナタネと雑草の競合実験を行い、ナタネ発生個体数および繁殖個体数の増減と環境要因(他種の繁茂程度、発芽有効温度)との関係を一般化線形混合モデルを用いて解析した結果、発生個体数および繁殖個体数は、他種の繁茂程度に大きく影響を受けることが明らかとなった。

##### ②共存研究(交雑抑制研究)

水田ほ場において、花粉親区(日本晴:ウルチ品種)と種子親区(へいせいもち:モチ系統)の間に防風植生として極晩生の飼料イネ(リーフスター:ウルチ品種)を栽培し、交雑への影響を調べたところ、防風植生の設置により交雑率が約1/3程度に低下する可能性が示された。また、防風ネットの設置位置と交雑抑制との関係を評価するために数値実験を行ったところ、花粉親の面積が小さい場合、防風ネットを花粉親の中央に置く方が、花粉親と種子親の境界に置くより抑制効果が大きかった。これは、防風ネットの風速低減効果は風上側にも働くため、花粉親群落中央部に防風ネットを設置することによりネットの風下側ばかりでなく風上側の風速も抑えることが出来、その結果、最も効果的な交雑抑制ができたものと考えられる。

#### B 自然循環機能の発揮に向けた農業生態系の構造・機能の解明と管理技術の開発

##### 1) 農業生態系の構造・機能の解明と評価



### 茶生産のために維持される茶草場は貴重な二次的自然の宝庫です

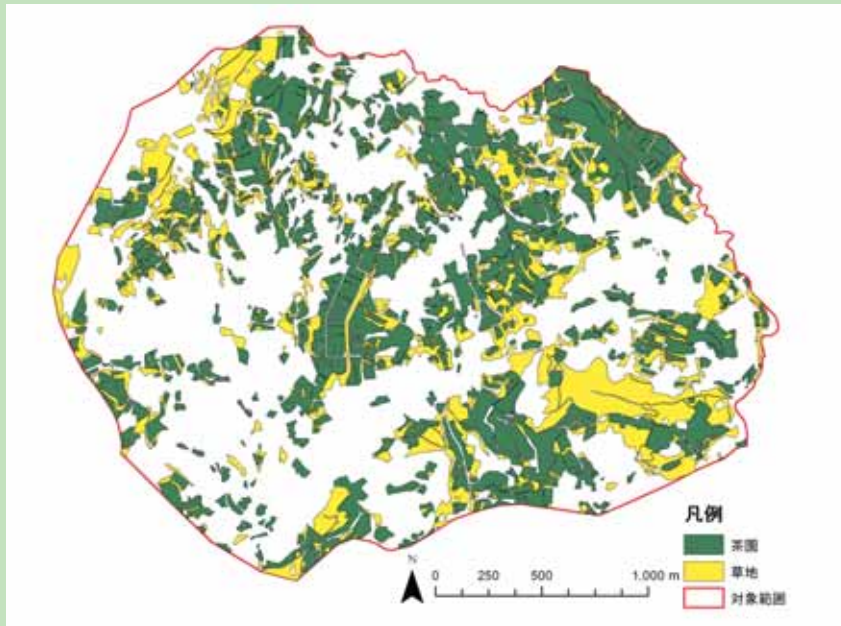


図7 茶草場の分布把握

茶園面積：169.25ha  
茶草場面積：110.97ha

研究対象地における茶草場の面積は茶園の約65%に達します。

#### (1) 農業生態系を構成する生物群集の動態と生物多様性の解明

中期計画：農業が育む生物相とその多様性を保全するため、農地とその周辺域に生息する植物、鳥類、昆虫類、線虫類、微生物等の動態を調査し、農地における耕起や化学資材の使用及び転作・休耕、周辺植生やため池の管理方法の変化並びに水田とその周辺域の景観構造の変動がそれらの種構成や多様性に及ぼす影響を解明する。また、得られた成果から、土地利用等の農業活動の変化に伴う指標昆虫等の生物個体群の動態予測モデルを構築することにより、個体群の安定化要因を解明する。

研究の概要：

##### ① 調査情報システムの構築と活用、景観構造と生物多様性の関係解明

水田の栽培管理および周辺の景観が水生昆虫の種構成・個体数に及ぼす影響を評価するため、栃木県4地区、福島県2地区の栽培管理の異なる水田において、水生昆虫の種類・個体数を調査した。水生昆虫の種数は、慣行水田よりも有機・減農薬水田で多い傾向があり、違いの程度は地域によって異なった。また、主要種の一つであるアカネ属トンボは、水田の栽培管理の違いを表す指標となる可能性が示された。本調査と同様の調査結果を全国で比較するため

地点データの収集・格納機能を RuLIS に整備した。

水田周辺の景観構造が鳥類生息に及ぼす影響を評価するため、鳥類の空間分布に影響を及ぼす空間スケールの抽出を行うとともに、鳥類の個体数変化傾向を定量化する手法を開発し、RuLIS モニタリング地区周辺の土地利用データを用い鳥類グループ数の出現種数を説明する一般化線形モデルにおいて解析した結果、グループや時期によって環境要素が影響を及ぼす空間スケールが大きく異なっていることを解明した。

##### ② 農法及び農地周辺の管理が植物群落に及ぼす影響

東海地方の茶産地では、良質茶の栽培を目的として茶園にススキの敷草を施す農法が行われており、その資材源としての茶草場が大面積で存在している。この茶草場の植生調査を行い、茶草場が草原性植物や絶滅危惧種が多く生育する貴重な半自然草地であり、在来植物の多様性には、土地改変や管理履歴等の歴史性が強く影響を及ぼしていることを明らかにした。わが国では、かつて国土面積の10%以上を占めていた半自然草地の減少が著しく、草原に依存する動植物が絶滅の危機に瀕しているが、本成果は、茶草場を生物多様性の核として将来にわたり維持するための知見を提供するものである。(図7)

除草剤利用等の農法が水田周辺の水生植物に及ぼ

す影響を解明するため、茨城県南部において異なる景観構造（谷津景観、平場景観）の農業水路に調査地点を拡張して水生植物群集と除草剤濃度の季節変動を把握した。水路の植物群集に最も影響を与えた環境要因は除草剤強度と刈取り除草であり、除草剤強度は沈水植物に、刈取り除草は抽水植物に強く影響を及ぼしていることが明らかになった。

## (2) 農業生態系機能の発現に関する情報化学物質の解明

中期計画：農業生態系機能の維持・向上に資するため、バラ科植物等が産生する生理活性物質、ノメイガ類等昆虫の増殖に関わる情報化学物質等の生物間の相互作用に関与している物質や、*Burkholderia* 属等の細菌グループにおける難分解性芳香族塩素化合物等の分解遺伝子の発現を制御している物質等を明らかにし、その機能を解明する。

研究の概要：

### ①バラ科植物等が産生する生理活性物質の機能解明

平成20年度までに100種類以上のバラ科植物から選抜を行い、ユキヤナギに含まれるシス-ケイ皮酸グルコシドが非常に高い植物生育阻害活性を示すことが明らかとなったため、その類縁化合物の検討を行った。シス-ケイ皮酸のベンゼン環上に置換基を導入し、その活性変化を解析し、置換基の位置（オルト、メタ、パラ位）による活性発現の違いを明らかにするとともに、シス-ケイ皮酸よりも高いアレロパシー活性を示す化合物を発見した（特許出願）。また、日本在来の被覆植物であるシランのアレロパシー活性の原因物質としてミリタリンを単離し、その構造を明らかにした。

### ②ノメイガ類等昆虫の増殖に関わる情報化学物質の機能解明

実験室内での交雑実験および野外採集個体の形態学的検証から、フキノメイガとツワブキノメイガが高い頻度で交雑しており、交雑体の性フェロモンは、両者の産生する性フェロモンの中間的な形質を示すことを明らかにした。他種との交雑によって、性フェロモンによる害虫防除の効率が低下する可能性が示唆された。

### ③生分解性プラスチック分解微生物の機能解明

高い生分解性プラスチック（以下、「生プラ」と略）分解活性を持つカビ（菌株名47・9）で、大量の酵素が安定して生産される条件を検討し、同じ菌体を再生利用して10回以上の反復培養が可能になっ

た。本酵素は液体状態と凍結乾燥粉末両方で、室温で長時間活性が維持されることを明らかにした（特許出願）。さらに、実用化を念頭においた実験にも着手し、水分条件が分解速度に与える影響が大きいことを明らかにした。

なお、シーズ研究から発展した成果として以下の成果が得られている。

### ④バイオエタノールを生産する固体発酵法

セルロース系バイオマスを収穫後、低水分のまま貯蔵している間に糖化とエタノール発酵を行う、新しいバイオエタノール生産方法「固体発酵法」を実験室規模で開発した。この方法により、サイレージと同様に刈り取り直後の材料草を容器に圧密/密閉する際に、バイオマス糖化酵素とエタノール発酵用酵母を添加することで、飼料イネホルクropp（穂と茎葉を含んだ植物体全体）からバイオエタノールと飼料生産の可能性が示唆される。

## 2) 農業生態系の変動メカニズムの解明と対策技術の開発

### (1) 地球環境変動が農業生態系に及ぼす影響予測と生産に対するリスク評価

中期計画：温暖化や異常気象に対する稲収量の変動をほ場スケールで評価するため、水、土壌、稲品種及び栽培管理条件を含む包括的な水田生態系応答モデルを開発する。また、地域スケールの簡易収量モデルを開発して、収量と水資源からみた今世紀半ば頃の日本及びアジアを中心とした稲収量の変動を予測し、稲収量の低下のリスクを地域スケールで広域に評価する手法を開発する。さらに、それら結果を基に気候変動が食料生産に及ぼす影響予測シナリオを構築する。

研究の概要：

### ①ほ場スケールでの影響評価（水田生態系応答モデルの開発）

（普及に移しうる成果：低コストで高精度の気温測定を可能にする強制通風筒）

温度・CO<sub>2</sub>濃度への生理、生育応答の遺伝的変異に関する研究では、これまでに実施したFACE（開放系大気CO<sub>2</sub>増加実験）及びチャンパー実験の結果を解析し、コシヒカリ、あきたこまち、秋田63号、タカナリ等の品種について、CO<sub>2</sub>増加に対する収量応答、高CO<sub>2</sub>条件での光合成の窒素利用効率、光合成の応答低下の程度に顕著な品種間差があることを明らかにした。

影響予測モデルの開発・改良研究では、高温によ

### 低コストで高精度の気温測定を可能にする強制通風筒



圃場の気温を正確に測定するため、既製の大量生産資材を組み合わせることで、低コストで卓越した性能を備えた強制通風筒（日射や風雨の影響を低減して正確な気温の測定を行う装置）を開発しました。本装置は、市販されている高価な強制通風筒と比較して遜色ない性能を有しており、広く活用が期待されます。

図8 NIAES-09型強制通風筒の外観と構造

- 1：吸気口
- 2：ステンレス二重管（110×75×300mm直管）
- 3：塩ビ管（VU管）およびソケット（呼び径100mm）
- 4：トイレ用換気扇（風量100m<sup>3</sup>/h程度）
- 5：排気口
- 6：BS/CS アンテナ用L字型固定金具
- 7：フェンス用アンテナマスト固定金具

る登熟不良を再現するために、粒の成長期間、成長速度、開花時系列パターンを温度の関数とする簡易な登熟モデルを開発した。環境制御チャンバーを用いて広範囲の温度条件から得られた登熟結果を用いて登熟モデルの検証を行ったところ、気温上昇に伴う粒重分布の変化を概ね再現できることがわかった。また、研究の一環として、低コストで高精度に気温を測定できる強制通風筒が開発された。（図8）

#### ②地域スケールでの影響評価

（普及に移しうる成果：特別日射量の高精度推定法の開発と日本全域におけるデータセットの作成）

平成19年度の成果であるモデル結合型作物気象データベース（MeteoCrop DB）を用いて、平成21年夏の気象条件が水稲作況に与えた影響の解析を行い、特に低日照となった本州日本海側で作況が低下したこと、低日照に加え7月の冷却が強かった北海道で、障害型冷害により作況不良となったことを示した。平成21年は、過去の冷害年と異なり、冷夏を伴わない記録的低日照の夏であり、このような年の作況解析は今後の地球温暖化など気候変動の影響を評価する上で重要である。また、研究の一環として、

特別日射量の高精度測定法が開発され、データセットとして公開に向け準備が進められている。（図9）

#### （2）農業活動等が物質循環に及ぼす影響の解明

中期計画：農業活動由来の温室効果ガス、窒素等に関する地域・地球規模での環境問題の解決に貢献するため、農業活動が物質循環に及ぼす影響を解明し、負荷軽減策を確立する。温室効果ガスについては、栽培・土壌管理技術による温室効果ガス発生抑制効果を定量的に評価することによって、効率的な負荷軽減技術体系を提示する。同時に、土壌関連データベースを活用し、土壌炭素の動態を記述するモデルを検証・改良して、日本の農耕地土壌における気候変化、人為的管理変化に伴う土壌炭素蓄積量の変化を予測する。また、食料生産・輸出入等に伴う窒素のフロー・ストックを、酸性化物質動態モデルや統計データ等に基づいて推定し、東アジアの流域又は国のスケールで窒素の広域循環及び環境への負荷を解明し、将来予測を行う。流域レベルでは、浅層地下水を含む土壌圏における硝酸性窒素・リン等の栄養塩類の流出動態を解明し、水質汚染に対する脆弱性を評価するための手法を開発する。

### 時別日射量の高精度推定法の開発と日本全域におけるデータセットの作成

日射量は、作物の生育において最も重要な気象要素の一つであるが、全国で67地点の地上気象観測所でしかデータが取得されていません。そこで、多くの地点で測定されている毎時の日照時間から時別日射量を高精度で推定する方法を開発し、1991年以降の日本全国のアメダス地点における時別日射量のデータセットを作成しました。これにより、作物の生産環境を地域ごとに高精度で評価することができます。

$$\text{式1: } S/S_0 = A_1(n/N)^2 + A_2(n/N)h + A_3h^2 + A_4(n/N) + A_5h + A_6$$

S : 日射量 (1時間積算) の推定値、 $S_0$  : 大気上端日射量、n : 日照時間の測定値 (0 ~ 60分)、N : 日照時間 (0 ~ 60分)  
 h : 太陽高度角 (0 ~  $\pi/2$ )、 $A_1 \sim A_6$  : 日降水量、積雪の有無、日照時間 (日積算値と前後1時間の値) に依存した係数  
 (注) 大気中の汚れと水蒸気量を考慮する場合には、 $S_0$ の代わりに快晴時日射量  $S_f$  を使用する。

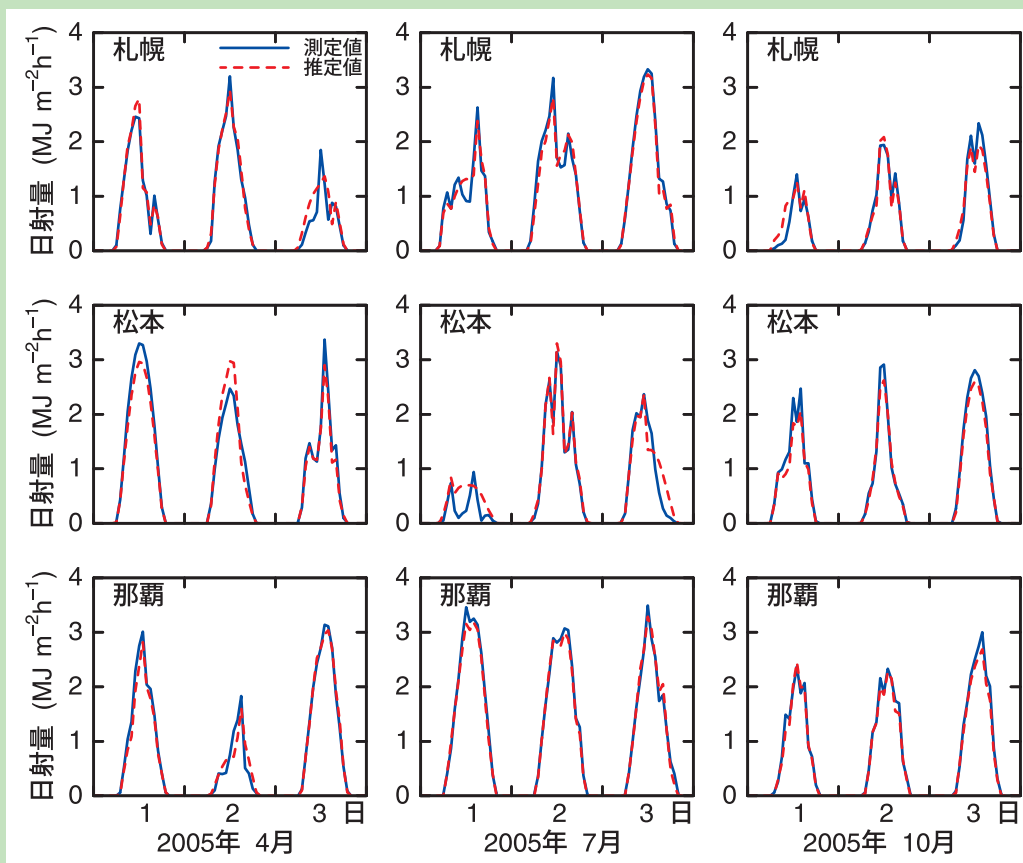


図9 札幌、松本、那覇における日射量の推定値と測定値の比較

#### 研究の概要：

ア 温室効果ガス発生抑制、土壌炭素蓄積を含む総合的な温暖化緩和策の定量的評価

① 農耕地からの温室効果ガス発生量の推計と抑制技術の定量的評価

(普及に移しうる成果：世界の水田からのメタン発生量とその削減可能量の推定)

水田は温室効果ガスであるメタンの重大な人為的発生源である。世界各国の温室効果ガス発生量の算定に用いられている IPCC ガイドラインが2006年に改訂され、本研究所の成果も反映され、水田からのメタン発生量の算定方法は、より精度の高いものとなっている。この方法と世界の水田耕作に関する統計データを用いて、世界の水田からのメタン発生量



を算定し2,560万トンであることを明らかにした。また、間断灌漑の導入と稲わらの管理の改善により、それぞれ、410万トンのメタンが削減可能であることを示した。本成果は、水田からのメタン発生が地球温暖化に及ぼす影響の再評価と、地球温暖化を緩和する稲作技術の開発に大きく貢献するものである。(図10、11、12)

農耕地から発生する亜酸化窒素の削減技術に関する圃場試験の文献値を収集し、統計解析を行うことで、慣行肥料と比較した平均的な削減効果は硝化抑制剤入り肥料で38%、被覆肥料で35%であることを明らかにした。本研究は、農耕地における亜酸化窒素の全体的な削減ポテンシャルについて世界で初めて定量的に評価したものである。

## ②土壌有機物動態モデルの広域検証と土壌炭素蓄積量変化の全国推定

土壌中の炭素動態を計算するローザムステッド・カーボン・モデル(RothC)を日本の全農耕地に1km解像度で適用することにより、堆肥の施用や二毛作による作物残渣のすき込みを増やす仮想的なシナリオに基づき、土壌への炭素蓄積効果を、全国レベルで推定した。県・地目別1970~2020年の現実的な有機物投入量シナリオ2種類(すう勢シナリオ及び緩和策シナリオ)を作成し、土地利用別、都道府県別のシナリオ別炭素投入量データを整備した。さらに、空間解像精度を高めるため、最大面積の土壌と地目で代表させていた1kmメッシュ内を、土壌と地目の組み合わせで細分化してモデルに入力出来るように改良した。これらの研究は、現実的なシナリオに基づきわが国の農耕地土壌炭素量の変動を精度良く全国推定するために重要である。(図13)

## イ 土壌圏から水域への栄養塩類の流出動態の解明に基づく流域水質汚染リスク評価手法の開発

### ①硝酸性窒素による地下水汚染に対する環境脆弱性評価

硝酸性窒素による水質汚染に対する環境脆弱性(気象・地形及び土壌的要因の違いによる水質汚染の生じやすさ)を評価するために、霞ヶ浦流域内の土壌・地形的条件の異なる104地点について、標準的な営農条件の下での硝酸性窒素の地下水流出濃度・流出量およびそれらに対する年間降水量の変動の影響のモデル予測を行った。得られた値を補完し、地下水流動過程や水辺域における脱窒による濃度減衰を土壌類型別に考慮した地下水中硝酸性窒素濃度

の面的分布を予測することにより、硝酸性窒素による地下水汚染に対する環境脆弱性評価図を作成した。地下水中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は、有機物含量が低い淡色黒ボク土の分布地域や、地下水位が比較的深い鹿行台地で低い傾向が見られた。また、地域によらず、水辺域(河川・湖沼周辺などの湿性土壌分布地帯)では顕著な濃度減衰がみられた。

## C 農業生態系の機能の解明を支える基盤的研究

### 1) 農業に関わる環境の長期モニタリング

#### (1) 農業環境の長期モニタリングと簡易・高精度測定手法の開発

中期計画：農業環境資源の変動を早期に検知するため、農業生態系におけるベースラインとなる物理環境や二酸化炭素・メタン等温室効果ガスフラックス及び作物・土壌中の $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{210}\text{Pb}$ 等についての長期モニタリングを行う。また、作物を含む環境中の有機ヒ素等微量化学物質の分析法及びモニタリングのための簡易・高精度測定手法の開発を行う。

研究の概要：

#### ア 地球温暖化に関する物理環境・ガスフラックスの変動の検知とモニタリング技術の高度化

##### ①温室効果ガスフラックスのモニタリング

国内・海外の研究機関と連携して、既往のフラックス観測サイトでモニタリングを継続した。平成21年は、全体としては、おおむね順調に新規データを収集した。

水田各サイトでは、生態系炭素収支の評価や炭素動態モデルで重要となる、収穫による炭素持ち出し量、イネ-ムギ二毛作地帯で一般的に行われている作物残渣の焼却に伴う炭素の流出量を調査し、これらのガスフラックス以外の要素を含めて、単作田サイトと二毛作田サイトの炭素収支を推定した。年間の $\text{CO}_2$ 収支を比較すると、単作田と二毛作田の違いは生態系呼吸量(植物呼吸量と有機物分解量)よりも総光合成量で顕著であり、後者が正味の $\text{CO}_2$ 固定量(純生態系生産量、NEP)のサイト間差の大半を占めていることがわかった。単作田では、作付け期間のNEPのおよそ半分が収穫時に持ち出され、残りの半分は非作付け期間に有機物分解により大気中に還元され、結果として収支がほぼ均衡している。一方、二毛作田では、二つの作期を合わせたNEPは単作田の約1.5~1.7倍だが、収穫残渣が焼却されるため、土壌への鋤き込み量は単作田と大差はなか

世界の水田からのメタン発生量とその削減可能量の推定

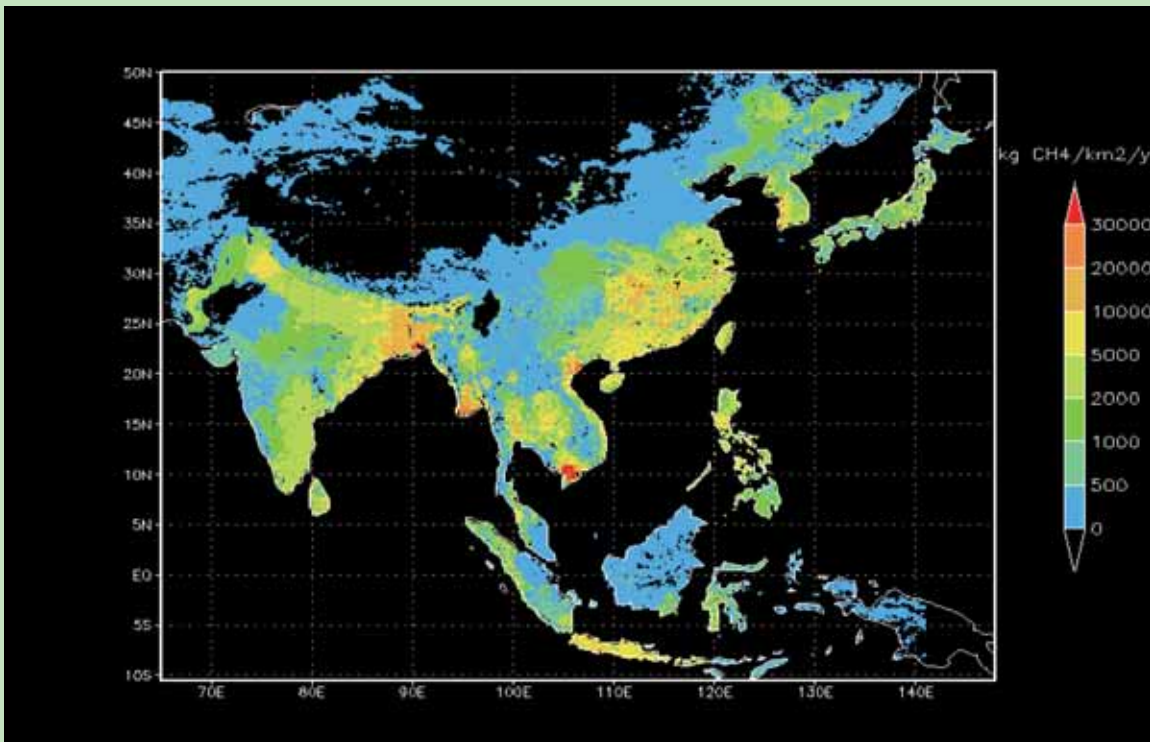


図10 世界の水田からのメタン発生量地理分布（モンスーンアジアのみを示す）

各国、各地域について算定された水田からのメタン発生量について、緯度経度5分の解像度にて地理分布を表しました。水稲栽培面積が多く、二（三）期作の行われている大河川のデルタ地域などで発生量の多いことが示されました。

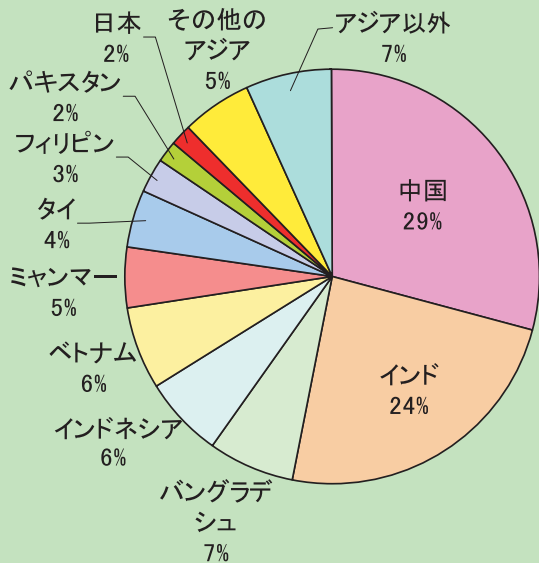


図11 水田からのメタン発生量の国別内訳

各国の水田からのメタン発生量が算定され、中国とインドで世界の約半分を占めることが明らかになりました。

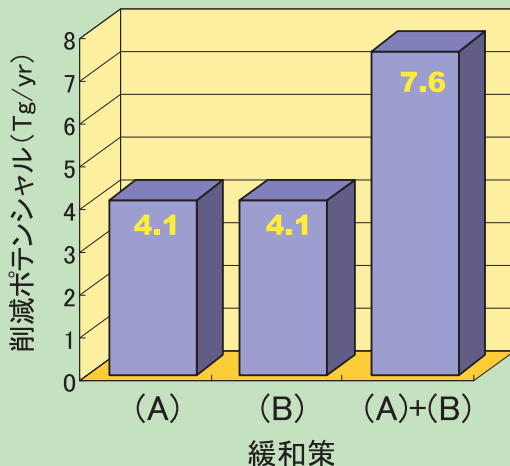


図12 緩和策による発生量削減ポテンシヤル

(A) 常時湛水の灌漑水田への間断灌漑の導入、  
 (B) 稲わらすき込み時期の改善（次の水稲耕作の30日前以前にすき込み）および(A)と(B)の併用による削減ポテンシヤルが推定されました。

### 有機物施用が及ぼす農地土壌への炭素蓄積効果を全国推定

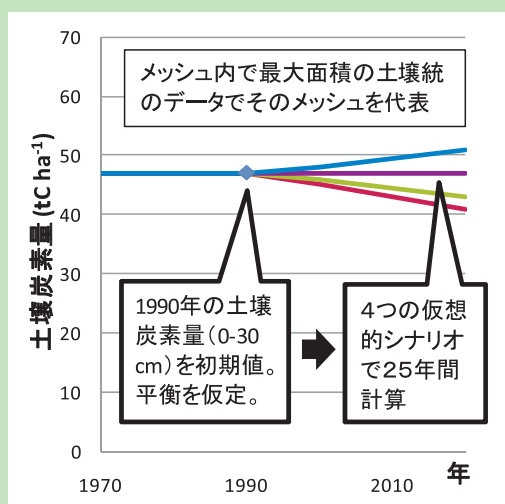


図13 1km 解像度全国計算の方法

1km メッシュごとに、水田用、黒ボク土畑用、非黒ボク土畑用の3つの RothC モデルを使い分けて計算を行い、全国集計しました。

った。

観測で得られる CO<sub>2</sub>フラックスを総光合成量と生態系呼吸量に分離する処理などの欠測値補完法の改良を行った。また、フラックスのオンライン監視用ソフトウェアを開発した。このソフトウェアは、圃場での CO<sub>2</sub>吸収量と水消費量を迅速に評価でき、ネットワークを利用した作物生育の監視や土壌水分の管理等への活用が期待される。

イ 作物・土壌中における放射性物質等の長期モニタリングと微量化学物質の簡易・高精度測定手法の開発

#### ①農業環境中の放射性物質の長期モニタリング

(普及に移しうる成果：主要穀類および農耕地土壌の人工放射性核種 (<sup>90</sup>Sr、<sup>137</sup>Cs) 分析データベースのインターネット上への公開)

本研究所では、原水爆実験や原子炉事故等によって環境に放出された放射性物質が作物や土壌に蓄積・残存する状況や、土壌から作物に移行する程度を明らかにするために、1950年代から全国規模で人工放射性核種のモニタリングを行ってきた。これら、日本各地に設けた放射能の定点調査ほ場で栽培された米・麦とその栽培土壌における放射性ストロンチウム (<sup>90</sup>Sr)、放射性セシウム (<sup>137</sup>Cs) の濃度につい

てデータベースを作成しインターネット上に公開した。これらのモニタリング情報は、問題が起こった時に、過去からの変化の様子をたどることができ、将来の不測な事態に備える上でも重要である。(図14、15)

畜産関係の放射能分析業務引き継ぎのため、牛乳試料の<sup>90</sup>Srについて、畜産草地研究所とのクロスチェック分析を行い、相関係数0.99以上を得た。

#### ②農業環境における微量化学物質の簡易、高精度分析法の開発

(普及に移しうる成果：水中の有害な有機化学物質を対象とした分析マニュアル)

水系における微量分析のニーズが高い有機リン系農薬のオキソソニ体(10種)に対して、簡単かつ迅速に抽出および精製ができるGC/MSによる分析方法を開発した。この研究及び平成20年度に実施した残留性有機汚染物質(POPs)の多成分分析法の開発は、水系における有害化学物質(農薬、医薬品、ホルモン類など)の効率的な微量分析法を開発するために、米国のOrange County Water District(OCWD)、ドイツのTechnology Center for Water(TZW)、韓国の水資源公社(K water)、国立環境科学院(NIER)と2年間の国際共同研究を行う中で実施したものである。この4カ国共同研究の成果を英文の分析マニュアルとして世界に発信した。本成果は、関連分野の研究者の活用が期待される。(図16、17)

#### 2) 環境資源の収集・保存・情報化と活用

##### (1) 農業環境資源インベントリーの構築と活用手法の開発

中期計画：農業環境を総合的に評価するため、マイクロ波計測や高時間分解能衛星センサMODIS等のリモートセンシングデータの解析技術を開発するとともに、地理情報システム(GIS)等を活用して農業的土地利用状況の新たな把握手法や生物生息域に関する指標を開発する。また、GISを共通のプラットフォームに個別データベースを連携する手法や新たな情報の登録・収集システムを開発し、農業環境指標の策定に資する。また、環境資源の個別データベースを拡充するとともに、深層土壌の機能評価を含む土壌分類試案を公開し、耕地・非耕地の包括的土壌データベースを構築する。さらに、インベントリーデータ等を効率的に活用するため、基盤的な統計手法及びその結果の視覚化手法等を開発する。独立行政法人農業生物資源研究所が行うジーンバンク事業について、サブバンクとして協力を

主要穀類および農耕地土壌の人工放射性各種 (<sup>90</sup>Sr, <sup>137</sup>Cs) 分析データベースのインターネット上への公開

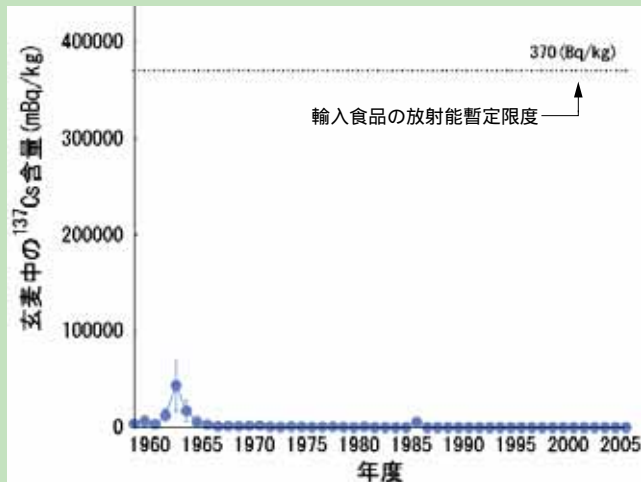


図14 グラフ出力例(玄麦中<sup>137</sup>Cs)

1960年代前半の原水爆実験時や1986年のチェルノブイリ原子力発電所の事故時に玄麦中<sup>137</sup>Csの濃度ピークが現れましたが、輸入食品の暫定限度値よりもかなり低かったことを示しています。

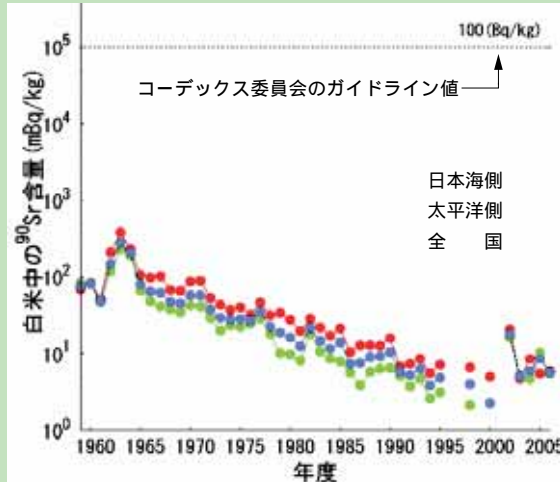


図15 グラフ出力例(白米中<sup>90</sup>Sr)

1960年代前半に現れた濃度ピーク以降、<sup>90</sup>Sr濃度は日本海側>太平洋側の傾向が続いていました。2000年を超えると、明らかな差はなくなってきています。

水中の有害な有機化学物質を対象とした分析マニュアル

Contents	
1. Determination of Organophosphorus Extraction followed by Gas Chromatography and Spectrometry <i>J.W.Choi, B.S. Moon, Y.S.Kim</i>	.....
2. Determination of Organophosphorus Chromatography Coupled with Tandem Mass Spectrometry <i>Y.S.Kim, B.S. Moon, J.W.Choi</i>	.....
3. Determination of Metabolites of Organophosphorus by Solid-phase Extraction followed by Spectrometry and High Resolution Mass Spectrometry <i>H.S. Eun</i>	.....
4. Development of Analytical Methods of POPs Candidates in Environmental Samples (PCNS, SCCPS) <i>S.K. Shin, S.R. Hwang</i>	..... 57
5. Determination of Pharmaceutical Residues in Wastewater by Solid-phase Extraction followed by Liquid Chromatography and Tandem Mass Spectrometry <i>H.-J. Brauch, C. Graf, F. Sacher</i>	..... 71
6. Occurrence and Fate of Pharmaceuticals in Wastewater Treatment Plants <i>H.-J. Brauch, C. Graf, F. Sacher</i>	..... 98
7. Analytical Quality Control for Trace Organic Analysis <i>L.J. Yoo</i>	..... 119

図16 マニュアル第2巻の表紙・目次

社会的に緊急性が高い有機リン農薬類、SCCPs、PCNs、医薬品類の微量分析方法を平易に解説しています。

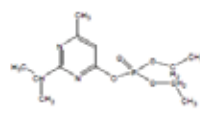
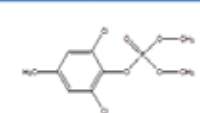
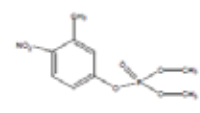
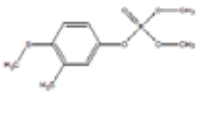
Table 3-5. Properties and Structure of organophosphorus (OP) oxons	
<b>Diazinon Oxon</b> 	Formula: C <sub>12</sub> H <sub>11</sub> N <sub>2</sub> O <sub>3</sub> P Chemical Name: Diethyl-2-isopropyl-6-methyl-4-pyrimidinyl phosphate CAS: 962-38-3 M.W.: 288.28 LogPow: 1.95
<b>Tolclofos-methyl Oxon</b> 	Formula: C <sub>9</sub> H <sub>11</sub> Cl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> P Chemical Name: O-2,6-Dichloro-p-tolyl O,O-Dimethyl phosphate CAS: 97483-08-4 M.W.: 283.06 LogPow: -
<b>MFP Oxon</b> 	Formula: C <sub>9</sub> H <sub>11</sub> NO <sub>3</sub> P Chemical Name: Dimethyl-3-methyl-4-nitrophenyl phosphate CAS: 2255-17-6 M.W.: 261.17 LogPow: -
<b>MPP Oxon</b> 	Formula: C <sub>13</sub> H <sub>17</sub> O <sub>3</sub> PS Chemical Name: O,O-Dimethyl O-3-Methyl-4-(methylthio)phenyl phosphate CAS: 6552-12-1 M.W.: 282.26 LogPow: -

図17 有機リン農薬オキソン体

構造式、分子量、化学名、CAS番号などを付記して分析対象化学物質の特性を理解し易いようにしています。



### 作物からの分光反射率画像を長期間自動的に記録し生育状態を追跡するシステム



図18 開発した全天候反射率画像撮影装置

カメラヘッドは2ないし3波長バンドの分光反射率画像を捉えることができます。

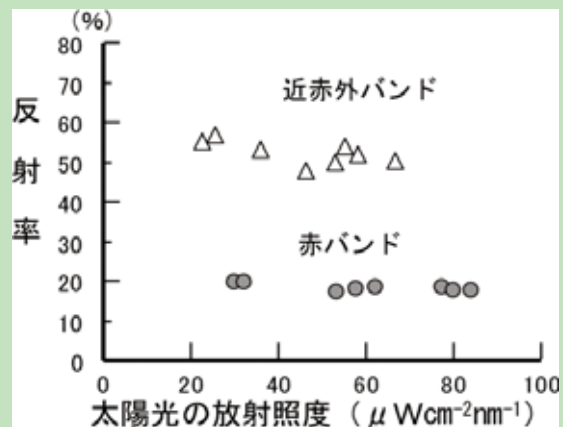


図19 成熟期イネの推定反射率と太陽光強度

明るさが3倍程度変化しても両バンドともほぼ一定の反射率を推定しています。

行う。

研究の概要：

ア リモートセンシング・地理情報システムを用いた農業環境資源の情報化と活用

①農業生態系情報抽出評価のためのリモートセンシング・GIS手法の開発

群落スケールの生育監視等に活用できる可視・近赤外域数波長の分光画像を野外計測する簡易システムを開発した。(図18、19)

ハイパースペクトラ解析に基づき高精度で汎用性が高い群落窒素量の評価指数を見出した。新規XバンドSAR衛星による後方散乱信号とイネ穂重との間に密接な関係を見出し、収量の直接評価の可能性を得た。新規CバンドSAR衛星の全偏波データに散乱成分分解モデルを適用することにより、1時期データのみで水稲作付域を抽出できる見通しを得た。また、高精度観測衛星アーカイブの時系列データから、土地利用変化の大きい中国黒竜江省の水田作付分布履歴図を作成した。

②生物生息域評価のための空間構造指標の開発

生物生息域としての機能面から土地利用分布や異種地目の配置の空間構造的な特徴を評価するため、生物の移動の難易度を示す指標である累積コスト指数を用いて、土地利用のモザイク性を考慮して生息地の連続性を評価する手法(累積コスト法)を確立した。スケールの異なる地域を対象に、森林棲生物等

を想定した広葉樹林からの累積コスト図と、水生生物や水鳥等を想定した水域からの累積コスト図を作成した。この手法により様々な場合の生息地連続性を可視化することが可能となった。また、関東全域を対象に水田域の幅を100mごとに区分化抽出し、傾斜度、天空開度、樹林地との隣接性を比較することにより、谷津田景観の分布状態と立地条件、消失危険性を明らかにした。

イ 総合的なインベントリーの構築と利用法の開発

①農耕地土壌情報システムの構築と公開

(普及に移しうる成果：農耕地土壌に関する情報をWEB上で閲覧するシステムの構築と公開)

2001年の土地利用に対応した新しい農耕地土壌図を作成し、さらに本研究所に長期に渡り蓄積されている全国の農耕地土壌に関する情報を、体系化しWeb上で閲覧するシステムとして構築し、平成22年4月に公開した(<http://www.niaes.affrc.go.jp/>)。本システムには、デジタル農耕地土壌図(縮尺：1/5万)、土壌の種類毎の説明と土壌の写真や模式図(土壌解説資料)および土壌を現地調査する際に記入する断面記載表と理化学分析データ(基準土壌断面データベース：全国で7115の調査地点が収録)を収録している。本システムは誰でも利用可能であり、土壌図は農業生産力評価、農耕地土壌の炭素貯留機能や水質浄化機能の評価などといった農業生産・地域環境の両側面での利活用が期待され、基準

## 農耕地土壌に関する情報を WEB 上で閲覧するシステムの公開

地域の田畑にはどのような土壌が分布しているのかを、WEB 上で調べることができるシステムを公開しました。このシステムでは誰でも土壌図と土壌の種類毎の写真やその性質などを見ることができ、全国の農耕地土壌を調べることができます。

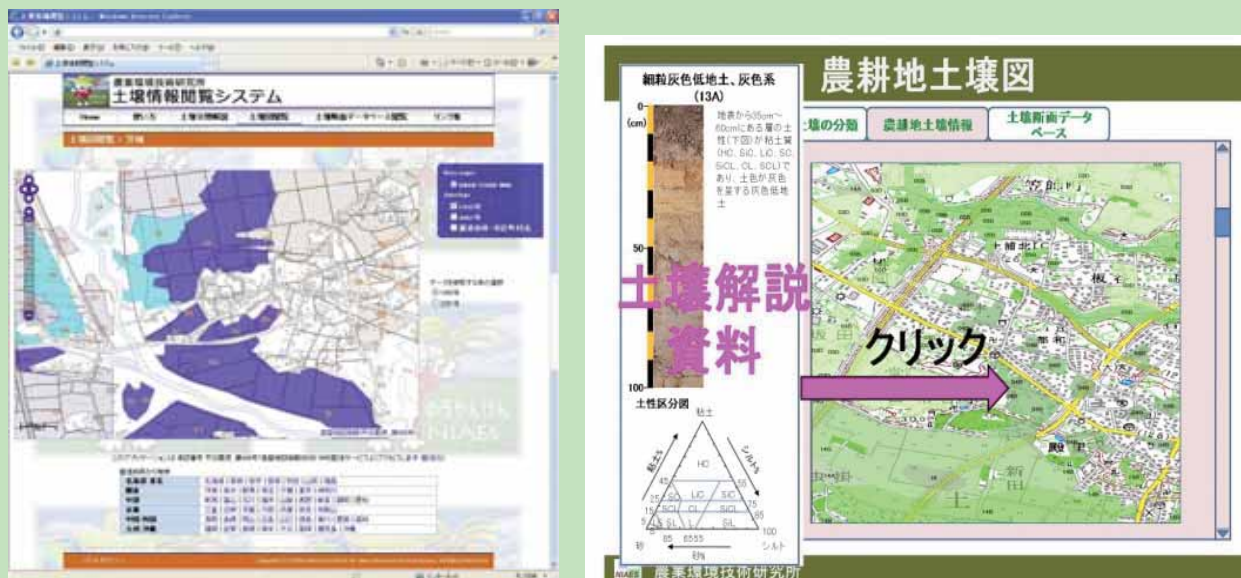


図20 農耕地土壌情報システム

(このシステムでできること)

土壌分類解説の表示、最新のデジタル農耕地土壌図(1/5万)の表示、土壌断面データベースの閲覧(全国7,115地点)

土壌断面データベースは土壌の多面的機能の評価、大学等での土壌学の教育素材、調査事業等で土壌調査のための調査支援ツール等への利活用が期待される。(図20)

### ②包括的土壌分類試案の策定

包括的土壌分類試案策定のため、外部研究者11名(大学5名、農研機構6名)内部(農環研)研究者6名でワーキンググループを組織した。農耕地土壌分類第3次改訂版(1995)と「日本の統一した土壌分類体系 - 第二次案(2002) -」を融合する方式で、包括的土壌分類体系試案を策定する基本方針の下、特徴層位、識別特徴、および検索表からなる第1次素案を作成し、ワーキンググループで検討した。

### ③都道府県別農地の窒素・リン酸収支算定データベースの構築

我が国の農地における窒素・リン酸の収支は、OECD加盟国中それぞれ4番目、1番目に多いことから、経年的な変化、地域的なバラツキ、作物別や畜種別の特徴を明らかにし、収支を改善する必要がある。そこで、肥培管理に関する調査結果、肥料生

産量、作物栽培・家畜飼養に関する農業統計などから、1985年から2005年までの5年ごとに、都道府県別、作物別、畜種別に窒素・リン酸収支を算定したデータベースを構築した。また、これを用いて解析を行い、我が国全体で収支は遞減しているが、野菜での窒素収支の過剰や未利用となる家畜ふん尿が増加していることを明らかにした。本データベースを農業環境リスク指標の一つとしてとらえ、我が国の農業分野における窒素・リン酸収支を改善するため、また、都道府県別の一酸化二窒素発生量の推計や、地下水・河川・湖沼の水質の改善に利用することができる。

### ④昆虫インベントリーの拡充

明治時代から昭和20年代後半にかけて我が国で行われた昆虫研究に関する文献情報をほぼ網羅した貴重な資料である「三橋ノート」のうち、多数の害虫や益虫を含み農林学的重要性が高いグループであるコウチュウ目に関する全135冊、19,992頁の画像を取得し、公開した。このデータベースは、各種の分布や害虫種の発生状況、益虫の利用状況など、

過去のコウチュウ目に関する文献を検索する上で、貴重な情報源となると期待される。

アジア地域のガ類標本では国内屈指の杉 繁郎コレクションのタイプ標本を公開した。178点のタイプ標本を中心とする合計379点の標本の画像、種名、ラベルデータ、文献情報などが閲覧できる。タイプ標本は、新種を報告する時に1個体指定する模式標本で、国際動物命名規約により、相応の研究機関での管理が勧告されている。本コレクションは、最近、

杉 繁郎氏から寄贈されたものであり、侵入害虫や生物多様性の評価などにおける分類学的研究への活用が期待される。

#### ⑤ ジーンバンク事業

平成21年度事業計画に基づき、微生物ジーンバンクについては、新規 MAFF 登録株を20株、特性420点を登録した。昆虫ジーンバンクについては、新規1系統(タバココナジラミ(バイオタイプQ))を導入し、2種9項目の特性評価を実施した。